



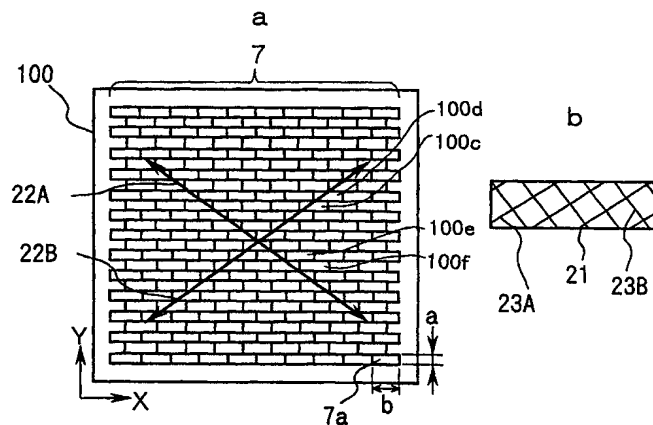
PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

<p>(51) 国際特許分類7 H01L 21/027, G03F 7/20</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/57459</p> <p>(43) 国際公開日 2000年9月28日(28.09.00)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP00/01449</p> <p>(22) 国際出願日 2000年3月10日(10.03.00)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平11/78820 1999年3月24日(24.03.99) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 白石健一(SHIRAISHI, Kenichi)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル 株式会社 ニコン 知的財産部内 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 大森 聡(OMORI, Satoshi) 〒214-0014 神奈川県川崎市多摩区登戸2075番2-501 大森特許事務所 Kanagawa, (JP)</p>		<p>(81) 指定国 AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>

(54)Title: EXPOSURE METHOD AND APPARATUS

(54)発明の名称 露光方法及び装置



(57) Abstract

An exposure method using coherent illuminating light, preventing interference fringes from being produced by the illuminating light on a reticle and further on a wafer, and improving the line width uniformity. Exposure illuminating light is projected onto a reticle through a fly-eye integrator (7) where multiple lens elements (7a) are arranged in contact with each other. A filter (100) having multiple filter elements corresponding to the lens elements (7a) is disposed near the light-incident surface of the fly-eye integrator (7). Different light-shielding patterns are provided on each set of adjacent two filter elements (100c, 100d) adjacent in the direction in which the arrangement pitches of the lens elements are short and which is indicated by arrow 22B, that is, in the direction in which interference fringes easily occur.

(57)要約

可干渉性を有する照明光を使用して露光を行う場合に、レチクル、ひいてはウエハ上での照明光による干渉縞の発生を抑制して、線幅均一性を向上できる露光方法である。多数のレンズエレメント（7 a）を密着配置して形成されるフライアイ・インテグレータ（7）を介してレチクルに露光用の照明光を照射する。フライアイ・インテグレータ（7）の入射面の近傍に、レンズエレメント（7 a）のそれぞれに対応した多数のフィルタ要素を有するフィルタ（100）を設置して、レンズエレメントの配列ピッチの短い矢印22Bで示す方向、即ち干渉縞が発生し易い方向に隣接する2つのフィルタ要素（100c, 100d）に対して互いに異なる遮光パターンを形成しておく。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AL	アルバニア	EES	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	EES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサウ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	ML	マリ	TZ	タンザニア
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MR	モリタニア	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	MZ	モザンビーク	VN	ヴェトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラヴィア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CU	キューバ	JP	日本	NO	ノールウェー	ZW	ジンバブエ
CY	キプロス	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド		
CZ	チェコ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	KR	韓国	RO	ルーマニア		

明 細 書

露光方法及び装置

5 技術分野

本発明は、被照射面での照度分布を均一化するためのオプティカル・インテグレータ（ホモジナイザー）を備えた照明光学装置に関し、特に半導体素子、撮像素子（CCD等）、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等のデバイスを製造するためのフォトリソグラフィ工程で使用される露光装置の照明光学系に使用して好適なものである。

背景技術

現在、マイクロ・プロセッサ及びDRAM等の各種半導体集積回路を量産するためのフォトリソグラフィ工程中で、マスクとしてのレチクルのパターンを基板としてのフォトレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に転写する際に一括露光型、又は走査露光型等の露光装置が使用されている。この種の露光装置は、レチクルを露光用の照明光（露光光）を用いて照明する照明光学系と、レチクルを通過した露光光よりウエハ上にレチクルパターンの例えば縮小像を形成する投影光学系と、ウエハのフォーカシング及び位置決めを行うウエハステージとを備えている。そして、照明光学系には、照度分布の均一性を高めるためにフライアイ・インテグレータ等のオプティカル・インテグレータが備えられている。

この種の露光装置を用いてウエハ上にレチクルパターンを転写する際には、解像度を高めることと共に、転写される回路パターンの各部の線幅の均一性を高めることが要求されている。即ち一つの回路チップ内で

の線幅均一性は、特にマイクロ・プロセッサを始めとするロジック系のデバイスにおいて安定した高速動作を得るために重要であり、その要求精度はデバイス性能の向上に伴い非常に厳しくなっている。従って、線幅均一性の向上は露光装置にとって重要な課題である。この線幅均一性を決定する要因としては、レジスト塗布時の厚さの均一性、現像の均一性、及びエッチング工程の正確さと共に、露光工程でフォトレジスト上に転写されるレチクルパターンの像による露光量分布の均一性、及びその像のデフォーカス量がある。

以下では、その回路線幅と露光量分布との関係につき説明する。例えばポジ型のレジストを用いる場合、或る部分で露光量が増大すると、現像後に溶解されるレジスト（この部分の下地パターンがエッチングによって除去される）の幅が増大するため、エッチング後にその部分に形成される回路パターンの線幅は減少する。一方、ネガ型のレジストを用いる場合、或る部分で露光量が増大すると、現像後に溶解されるレジストの幅が減少するため、エッチングによってその部分に形成される回路パターンの線幅は太くなる。よって、例えば露光領域内において露光光の照度むらが存在する場合、ウエハ上の露光対象のショット領域内の位置に応じて露光量むらが生じ、結果として回路線幅のばらつきが生じることになる。

上記の如く、ウエハ上に形成される回路パターンの線幅均一性は、露光工程において露光量分布の均一性が悪化するとそれに応じて悪化する。実際に露光工程で稼働している露光装置においては、露光量分布の均一性を悪化させる様々な要因が存在する。これらは主に光学系に起因する要因と、システム制御精度に起因する要因とに分けられ、光学系に起因する要因は、更に露光ショット内においてマクロな線幅ばらつきを生じる要因と、ミクロな線幅ばらつきを生じる要因とに分けられる。前者の

例としては、投影光学系の各種収差、露光光としてのパルスレーザのパルス毎のエネルギーのばらつき、露光光の断面内の照度分布のばらつき、及び露光光の位置毎のコヒーレンスファクタのばらつき等があり、後者の主な例としては露光光が可干渉性を有する場合に発生するスペックルパターンや干渉縞がある。

これに関して、回路パターンの微細化に伴い露光光の短波長化が進み、最近では露光光としてKrF（波長248nm）、更にはArF（波長193nm）等のエキシマレーザ光の使用が通常のこととなっている。このように露光光として高い可干渉性を有するパルスレーザビーム（パルス光）を使用する場合に、照明光学系中のオプティカル・インテグレータとして例えばフライアイ・インテグレータを使用すると、フライアイ・インテグレータを構成する複数のレンズエレメントを通過した光束がレチクル上、ひいてはウエハ上で重ね合わされて干渉縞が発生してしまう。

但し、通常はウエハ上の任意の1点は、数十パルス以上のパルス光で露光され、且つ各パルス光における干渉縞の位置は、フライアイ・インテグレータの前方に配置された振動ミラーによって変化すると共に、走査露光の場合は走査自体によっても干渉縞の位置が相対的に変わるため、実露光時には干渉縞のコントラストは十分下がっている。また、可干渉性低減のために光遅延機構を導入し、更なる干渉縞低減を実現している露光装置もある。従って、現状の回路形成プロセスにおいて、干渉縞が許容範囲以上の線幅のばらつきを生じることはない。

しかしながら、今後半導体集積回路の微細化、高集積化が一層進むと、線幅ばらつきの許容範囲は次第に狭くなる。また、露光光の短波長化が進むと、硝材が制限されて色消しが困難になるため、色収差低減の観点から露光光としてのレーザビームが更に狭帯化され、その結果として時

間的コヒーレンスも更に高くなって干渉縞がより生じやすくなり、干渉縞による線幅ばらつきが無視できなくなる恐れがある。更に、パルスレーザのパルス間のエネルギーばらつきが改善されてくると、最小露光パルス数が低く設定されるようになり、パルス積算による干渉縞のコントラスト低減効果が十分に見込めなくなってくる。従って、干渉縞の発生を抑制する手法の開発は重要である。

本発明は斯かる点に鑑み、可干渉性を有する照明光を使用して露光を行う場合に、基板上での照明光による干渉縞の発生を抑制して、線幅均一性を向上できる露光方法を提供することを第1の目的とする。

更に本発明は、可干渉性を有する照明光を使用する場合に被照射面での照明光による干渉縞の発生を抑制できる照明光学装置を提供することを第2の目的とする。

また、本発明は、そのような照明光学装置を備えて転写対象の基板上での照度分布の均一性を向上できる露光装置を提供することを第3の目的とする。

また本発明は、そのような露光方法を使用して高機能のデバイスを製造できるデバイスの製造方法を提供することを目的とする。

発明の開示

本発明による露光方法は、照明光よりオプティカル・インテグレータ(7)を介して複数の光源像を形成し、この複数の光源像からの照明光で所定のパターン(13)を重畳的に照明し、そのパターンを基板(18)上に転写する露光方法において、そのオプティカル・インテグレータによって形成されるその複数の光源像の中で所定方向に隣接する2つの光源像からの照明光の強度分布又は位相分布を互いに異ならしめるものである。

斯かる本発明によれば、その照明光が可干渉性（空間コヒーレンス）を有する場合、その所定方向とは、隣接する2つの光源像の間隔が最も狭く、可干渉性の最も大きい方向であるか、又は干渉縞の発生をできるだけ抑制したい方向（例えば走査露光を行うときには非走査方向）である。そして、例えばその2つの光源像を形成する2つの光束が通過する位置にフィルタ等を設置して、2つの光束の強度分布又は位相分布を互いに異なるようにすると、その2つの光源像からの光束間の可干渉性が低下して、その所定方向に対する基板上での干渉縞のコントラスト又はフィネスが低下する。即ち、干渉縞の発生が抑制される。また、そのオプティカル・インテグレータがフライアイ・インテグレータであるときには、これを構成する複数のレンズエレメント内のその所定方向に隣接する複数のレンズエレメントからの光束間の可干渉性が低下して、干渉縞の発生が抑制される。なお、隣接する2つの光源像とは、1つの光源像どうしに限られるものではなく、2以上の光源像からなる光源像群を含むものであってもよく、例えば2つの光源像群からの照明光の強度分布又は位相分布が互いに異なるようにフィルタ等を設置してもよい。

次に、本発明による照明光学装置は、照明光より複数の光源像を形成するオプティカル・インテグレータ（7）と、このオプティカル・インテグレータを通過した照明光を被照射面に導くコンデンサ光学系（9，11）とを備えた照明光学装置において、そのオプティカル・インテグレータの入射面の近傍で、その複数の光源像の内の所定方向に隣接する2つの光源像に対応する2つの領域（100c，100d）を通過する照明光の強度分布又は位相分布を互いに異ならしめる光学フィルタ（100）を設置したものである。

斯かる本発明によれば、その光学フィルタによってその2つの領域を通過する照明光の強度分布又は位相分布を例えばそれぞれランダムに変

えることによって、それらの強度分布又は位相分布は互いに異なるようになって、その2つの領域からの照明光による干渉縞の発生が容易に抑制される。

5 この際に、干渉縞の発生を更に抑えるために、オプティカル・インテグレータの前方、即ちオプティカル・インテグレータに対してその入射面側に振動ミラーを配置したり、走査露光と併用してもよい。

10 この場合、そのオプティカル・インテグレータ（7）が複数のレンズエレメント（7 a）を束ねて形成されるフライアイ・インテグレータであるときに、その光学フィルタは、一例としてその複数のレンズエレメントの内のその所定方向に隣接する2つのレンズエレメントに入射する照明光の光路上に配置された2つのフィルタ要素（1 0 0 a, 1 0 0 b）を有し、この2つのフィルタ要素は、それぞれ所定形状の領域内にこの領域よりも十分に小さい面積を持ち、背景の領域に対して照明光の強度又は位相を変化させる複数のパターン・ユニット（SD）を互いに異なる配列で配置したものである。このとき、そのパターン・ユニット（微小な遮光パターン、ハーフトーンパターン、位相シフタ等）の配列を例えばランダムに設定するだけで、容易に強度分布や位相分布を変えることができる。

20 また、その光学フィルタを構成する複数のフィルタ要素の中で、その照明光の空間コヒーレンス長の2倍を直径とする円形の領域（2 6）に実質的に収まる複数のフィルタ要素（1 0 1 A～1 0 1 R）は、互いに異なることが望ましい。これによって、その空間コヒーレンス長より狭い間隔のレンズエレメントを通過した光束間の可干渉性が低下するため、光学フィルタの構造をあまり複雑化することなく、干渉縞をより少なく
25 することができる。

また、その被照射面と実質的にフーリエ変換の関係となる所定面上で

のその照明光の光量分布を可変とする光学装置を更に備え、その光学フィルタ（１０２）を構成する複数のフィルタ要素は、その光量分布に応じてそれぞれこのフィルタ要素を通過する照明光の強度分布又は位相分布を設定することが望ましい。

5 また、その所定方向は少なくともそのレンズエレメントの配列ピッチが最短となる方向を含むことが望ましい。

次に、本発明による露光装置は、上記の本発明による照明光学装置でマスクを照明し、このマスクのパターンを基板上に転写するものである。本発明によってその基板上には干渉縞が生じにくいため、露光量分布の
10 均一性が向上し、最終的にその基板上に形成される回路パターンの線幅均一性が向上する。

この場合、そのパターンをその基板上に転写するために、その照明光に対してそのマスクとその基板とをそれぞれ相対移動し、その所定方向は少なくともそのマスクの移動方向と交差する方向を含むことが望まし
15 い。

また、本発明によるデバイスの製造方法は、本発明の露光方法によりマスクに形成されたそのパターンをその基板上に転写する工程を含むものである。斯かる本発明よれば、本発明の露光方法によりそのパターンを転写するため、線幅均一性に優れた高機能のデバイスを製造すること
20 ができる。

図面の簡単な説明

図１は、本発明の実施の形態の一例の投影露光装置を示す概略構成図である。図２は、図１のレチクル１３の照明領域を示す斜視図である。
25 図３（ａ）は、フライアイ・インテグレータ７の多数のレンズエレメントの配置の一例を示す図、図３（ｂ）はその配置によって照明領域に形

成される干渉縞の一例を示す図である。図4は、フライアイ・インテグ
レータ7の入射面近傍にフィルタ100を配置する状態を示す斜視図で
ある。図5は、フィルタ100を構成する一つのフィルタ要素100a
の遮光パターンの一例を示す図である。図6は、そのフィルタ要素10
5 0aに対して複数の遮光ドットパターンをランダムに配置する際の配列
の決定方法の一例を示す図である。図7は、走査露光型の投影露光装置
用のフィルタの一つのフィルタ要素100aにおける遮光ドットパター
ンの配列方法の一例を示す図である。図8は、空間的コヒーレンス長を
考慮した場合のフィルタ101の遮光パターンの配置の一例を示す図で
10 ある。図9は、コヒーレンスファクタ（ σ 値）の小さい照明光学系に対
して有効なフィルタ102の遮光パターンの配置の一例を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の好適な実施の形態の一例につき図面を参照して説明す
15 る。まず、本発明の光学フィルタに対応する遮光型のフィルタを備えた
ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置について説明する。

図1は本例の投影露光装置を示す概略構成図であり、この図1におい
て、露光光源1としては、一例として発振波長が193nmの付近で狭
帯化されたArFエキシマレーザが使用されており、露光時には露光光
20 源1から可干渉性の高いパルスレーザ光よりなる露光用の照明光（露光
光）ILが射出される。但し、照明光ILとして、KrFエキシマレー
ザ光（波長248nm）、F₂レーザ光（波長157nm）、YAGレ
ーザの高調波、又は半導体レーザ光の高調波等の可干渉性を有する光束
を使用する場合にも本発明は適用される。

25 露光光源1から射出された照明光ILは、光路を鉛直上方に折り曲げ
るミラー2で反射された後、レンズ3a、3bよりなるビーム整形光学

系 3 によって断面形状が整形されて振動ミラー 4 に入射する。振動ミラー 4 は、駆動部 4 a によって所定周期で光軸を中心として振動している。振動ミラー 4 で反射された照明光 I L は、後述の照度補正フィルタ 2 0 0、及び本発明の光学フィルタに対応する遮光型のフィルタ 1 0 0 を通過して、オプティカル・インテグレータ（ホモジナイザー）としての多数のレンズエレメントを束ねて構成されるフライアイ・インテグレータ（フライアイレンズ） 7 に入射し、その射出側の面に多数の光源像が形成される。これらの光源像から発散する光束は、照明系の開口絞り 8 に設けられた円形開口によりその断面の形状及び大きさが制限された後、第 1 コンデンサレンズ 9 及び第 2 コンデンサレンズ群 1 1 からなるコンデンサ光学系により集光され、露光用の照明光 I L としてレチクル 1 3 のパターン面（下面）の細長い照明領域 2 1（図 2 参照）を照明する。

このとき、第 2 コンデンサレンズ群 1 1 の中間付近には、光路折り曲げ用のミラー 1 2 が挿入されており、第 1 コンデンサレンズ 9 と第 2 コンデンサレンズ群 1 1 との間には、視野絞り（固定ブラインド） 1 0 が、レチクル 1 3 のパターン面と共役となるような位置に配置され、視野絞り 1 0 がそのパターン面の照明領域を決定している。更に、走査露光の開始時及び終了時に、それぞれ被露光基板に対する不要な露光を防止するために、不図示であるが、視野絞り 1 0 の近傍には、ステージ系の動作に同期して開口を開閉する機能を備えた可動ブラインドも設置されている。また、開口絞り 8 の配置面 P 3 は、レチクル 1 3 のパターン面に対する光学的フーリエ変換面、又はこの近傍に設定されている。なお、オプティカル・インテグレータとして、フライアイ・インテグレータ以外にガラスロッド（ロッド・インテグレータや内面反射型インテグレータ）の使用も考えられる。

照明光 I L のもとで、レチクル 1 3 の照明領域内のパターンの像が、

投影光学系 1 4 を介して投影倍率 β (β は例えば $1/4$, $1/5$ 等) で、
フォトレジストが塗布されたウエハ 1 8 の露光対象のショット領域上に
投影される。投影光学系 1 4 内のレチクル 1 3 のパターン面に対する光
学的なフーリエ変換面 (瞳面) P 2 上には開口数を規定する開口絞り 1
5 が設置されている。以下、投影光学系 1 4 の光軸 A X に平行に Z 軸を
取り、Z 軸に垂直な平面内で図 1 の紙面に平行に X 軸を、図 1 の紙面に
垂直に Y 軸を取って説明する。図 2 に示すように、本例のレチクル 1 3
に対する照明領域 2 1 は、X 方向に細長い長方形であり、走査露光時に
レチクル 1 3 は照明領域 2 1 に対して $\pm Y$ 方向 (走査方向) に定速移動
10 する。

図 1 に戻り、レチクル 1 3 は、このレチクル 1 3 を Y 方向に定速で移動するレチクルステージ R S T 上に保持され、レチクルステージ R S T の位置は不図示のレーザ干渉計によって計測されている。一方、ウエハ 1 8 は、不図示のウエハホルダを介してウエハステージ W S T 上に保持
15 されている。ウエハステージ W S T の X Y 平面内での位置は不図示のレーザ干渉計によって計測され、ウエハステージ W S T は、オートフォーカス方式でウエハ 1 8 の表面を投影光学系 1 4 の像面に合わせ込む。更に、ウエハステージ W S T は、ウエハ 1 8 を Y 方向に定速で移動すると共に、X 方向及び Y 方向にステップ移動する。また、ウエハステージ W
20 S T 上のウエハ 1 8 の近傍にピンホールが形成された遮光板 1 9 が固定され、この遮光板 1 9 の底部にコリメータレンズ、及びこのコリメータレンズによる平行光束の強度分布を計測するための撮像素子よりなる計測系が配置されている。

そして、走査露光時には、ウエハ 1 8 上の一つのショット領域への露
25 光が終わると、ウエハステージ W S T のステップ移動によってウエハ 1 8 上の次のショット領域が走査開始位置に移動する。その後、レチクル

ステージ R S T 及びウエハステージ W S T を同期駆動して、レチクル 1 3 及びウエハ 1 8 を投影光学系 1 4 に対して Y 方向に投影倍率 β を速度比として同期走査するという動作が、各ショット領域毎にステップ・アンド・スキャン方式で繰り返される。

- 5 さて、本例の投影露光装置で使用されている照明光 I L は、可干渉性の強いレーザ光であり、何の対策も施さない場合には、フライアイ・インテグレータ 7 を構成する複数のレンズエレメントからの照明光同士が干渉して、レチクル 1 3 の照明領域 2 1 内に干渉縞が形成され、この干渉縞がウエハ 1 8 上での露光量むらを引き起こす恐れがある。ただし、
- 10 本例の投影露光装置は走査露光型であり、走査方向（Y 方向）に形成される干渉縞の影響は走査露光によって軽減されるが、この場合にもレチクル 1 3 の照明領域 2 1 に形成される干渉縞が、走査方向に丁度整数周期分だけ形成されているのでなければ、ウエハ 1 8 上で走査方向の位置毎に露光量のばらつきが生じる。そこで、走査方向についても、できるだけ干渉縞は生じないことが望ましい。
- 15

- 以下では、レチクル 1 3 の照明領域 2 1 内での照明光 I L の干渉縞の発生を抑制し、ひいてはウエハ 1 8 上での照明光 I L の露光量分布を均一化して、ウエハ 1 8 上に形成される回路パターンの線幅を均一化するための本例の機構（線幅制御機構）につき説明する。まず、本例では振動ミラー 4 が設けられており、露光中に振動ミラー 4 によって照明光 I L をフライアイ・インテグレータ 7 の入射面で、例えば走査方向と非走査方向との中間方向に僅かな振幅で振動させている。これによって、例えば露光光源 1 のパルス発光毎に照明領域 2 1 内での干渉縞の状態が変化するため、積分効果によって照度むらが小さくなる。
- 20

- 25 更に本例では、フライアイ・インテグレータ 7 を構成する各レンズエレメントの入射面（以下、「フライアイ・インテグレータ 7 の入射面」

と呼ぶ)は、それぞれレチクル13のパターン面、及びウエハ18の表面(ウエハ面)と共役な関係にある。このフライアイ・インテグレータ7の入射面から僅かに露光光源1側に離れた面P1に、フィルタ100のパターン面が配置され、このパターン面に干渉縞の発生を抑制するために所定の透過率分布で遮光パターンが形成されている。このフィルタ100が本発明の光学フィルタの一例である。

図3(a)は、図1のフィルタ100をフライアイ・インテグレータ7側に見た図、図3(b)は図2のレチクル13上の照明領域21を示す平面図であり、図3(a)において、図1のX方向(非走査方向)及びY方向(走査方向)に対応する方向をそれぞれX方向及びY方向として表している。まず、図3(a)において、フライアイ・インテグレータ7は、Y方向の幅aでX方向の幅bの長方形の断面形状のレンズエレメント7aをX方向、Y方向に密着して配列して形成されている。この例では、レンズエレメント7aはY方向に段違いに配列されている。

この場合、レンズエレメント7aの入射面は図2のレチクル13のパターン面と共役であるため、照明効率を高めるためには、レチクル13のパターン面の照明領域21とレンズエレメント7aの断面形状とはほぼ相似であることが望ましい。実際には、レンズエレメント7aの断面形状は照明領域21の共役像より僅かに大きく設定してあり、照明領域21の最終的な形状は視野絞り10によって設定される。そこで、図2に示すように照明領域21のY方向の幅をDa、X方向の幅をDbとすると、幅Dbは幅Daの2.5倍～5倍程度であると共に、ほぼ次の関係が成立している。

$$D a : D b = a : b \quad (1)$$

また、フライアイ・インテグレータを2段直列に配置したいわゆるダブル・フライアイ構成とすることも可能である。このダブル・フライアイ

イ構成の場合には、図 3 (a) のフライアイ・インテグレータ 7 は露光光源から 2 段目、即ちレチクルに近い側のフライアイ・インテグレータであり、各レンズエレメントの射出面にはそれぞれ 1 段目のフライアイ・インテグレータを構成するレンズエレメントと同じ個数の多数の光源像が形成される。

照明光の干渉縞は、複数のレンズエレメント 7 a が規則的に配列されていることにより生じ、図 3 の配列では矢印 2 2 A 及び 2 2 B で示す斜め方向に隣接するレンズエレメントのピッチが最短となるため、この方向が干渉縞発生 of 支配的方向、即ち干渉縞の明線と暗線とに垂直な方向となる。従って、特に対策を施さないときに、図 3 (b) の照明領域 2 1 では、図 3 (a) の矢印 2 2 A 及び 2 2 B に対応する方向にそれぞれ干渉縞 2 3 A 及び 2 3 B が発生することになる。

その干渉縞を低減するために、フィルタ 1 0 0 が設置され、フィルタ 1 0 0 のフィルタ領域はフライアイ・インテグレータ 7 の各レンズエレメント 7 a に対応して X 方向、Y 方向に多数のフィルタ要素 (1 0 0 c, 1 0 0 d 等) に分割されている。これらのフィルタ要素はレンズエレメント 7 a の断面形状と同じく幅 a × 幅 b の長方形であり、これらの多数のフィルタ要素内にはそれぞれ所定の透過率分布で微細な遮光パターンが形成されており、各フィルタ要素がそれぞれ平均的に例えば約 0.9 (90%) 程度の透過率を有している。そして、図 3 (a) の配列では、矢印 2 2 B に沿った方向に隣接するフィルタ要素 1 0 0 c 及び 1 0 0 d は、互いに異なる透過率分布を有し、同様に矢印 2 2 A に沿った方向に隣接するフィルタ要素 1 0 0 e 及び 1 0 0 f も、互いに異なる透過率分布を有しており、これによって矢印 2 2 A, 2 2 B の方向に配列されたレンズエレメント 7 a を通過した光束間の可干渉性 (空間コヒーレンス) を低下させている。

なお、理論的には干渉縞発生 of 支配的方向（矢印 2 2 A, 2 2 B の方向）に隣接するフィルタ要素の透過率分布を異ならせばよいが、それ以外の方向であっても或る程度は干渉縞が発生する。そこで、本例では全ての方向において干渉縞の発生を抑制するために、一例としてフィルタ 1 0 0 を構成する各フィルタ要素毎にはほぼランダムに遮光パターンを形成することによって、実質的に全部のフィルタ要素の透過率分布を互いに異ならせている。

次に、フィルタ 1 0 0 の構成例につき詳細に説明する。

図 4 は、フライアイ・インテグレータ 7 の入射面近傍にフィルタ 1 0 0 を設置する状態を示し、この図 4 のフライアイ・インテグレータ 7 のレンズエレメント 7 a, 7 b の配列は、図 3 (a) の配列とは異なり X 方向、Y 方向にそれぞれ直列としてある。そのため、それに対応するフィルタ 1 0 0 のフィルタ要素 1 0 0 a, 1 0 0 b も X 方向、Y 方向に直列に配置されている。フィルタ 1 0 0 の基板は、露光用の照明光 I L に対して透過性の材料から形成されている。具体的に、照明光 I L の波長が本例の A r F エキシマレーザ光を含む 1 6 0 n m 程度までであれば、フィルタ 1 0 0 の基板として合成石英 (S i O₂) が使用でき、照明光 I L の波長が F₂ レーザ光を含む 1 5 0 n m 程度までであれば、フィルタ 1 0 0 の基板としてフッ素をドーブした合成石英、又は蛍石 (C a F₂) が使用でき、照明光 I L の波長が 1 2 0 n m 程度までであれば、フィルタ 1 0 0 の基板として蛍石、フッ化マグネシウム (M g F₂)、L i F、L a F₃、又はリチウム・カルシウム・アルミニウムフロライド（通称：ライカフ結晶）等の何れかのフッ化物結晶材料が使用できる。

そして、フィルタ 1 0 0 の基板のフライアイ・インテグレータ 7 側の面、又は露光光源側の面に遮光パターンが形成されている。遮光パターンの材料は、フォトリソグラフィ工程で回路パターン等を製造する際に、

通常マスクとして用いられるレチクルのパターンと同様にクロム（Cr）等の金属膜を用いることができる。クロムを用いるものとする、本例のフィルタ100は、例えば上記の透過性の基板に対するクロム膜の形成工程、その上へのフォトリソの塗布工程、所望の遮光パターンに対応するレチクルのパターンの像を投影露光装置によってその基板上に転写する露光工程、現像工程、エッチング工程、及びレジスト剥離工程を経て高精度に製造することができる。但し、不要な反射を抑えるため、フィルタ100の両面には照明光ILの波長に対する反射防止処理を施すことが望ましい。

前述のように、フィルタ100の取り付けの際は、フィルタ100のパターン面がフライアイ・インテグレータ7の入射面（レチクルのパターン面との共役面）に対して適切な間隔を保つように設置して、レチクルのパターン面上で照度むらが生じないように配慮することが必要である。そのためには、フィルタ100とフライアイ・インテグレータ7との間に隙間を開けた状態でフィルタ100を保持する機構を設けるか、又は両者の間に更に透明なプレート、若しくは棒状のスペーサを挟んだ上でフィルタ100をフライアイ・インテグレータ7に押さえ付けて固定すればよい。

また、フィルタ100のパターン面を露光光源側にするか、又はフライアイ・インテグレータ7側にするかによってもそのパターン面とフライアイ・インテグレータ7との間隔が変わる。フィルタ100のパターン面をフライアイ・インテグレータ7側にした場合、露光用の照明光としてエキシマレーザ光のような強い紫外パルス光を使用する際に問題となる周囲の雰囲気（空気、窒素ガス、ヘリウムガス等）中の微量の有機物質の分解等による曇り（汚染）が、そのパターン面に生じにくいという利点がある。しかしながら、この場合にはフィルタ100のパターン

面とフライアイ・インテグレータ 7 との間の間隔を所定間隔以上に保つためのスペーサ等が必要となる。一方、フィルタ 1 0 0 のパターン面を露光光源側にした場合、そのフィルタ 1 0 0 自体の基板がそのパターン面とフライアイ・インテグレータ 7 との間の間隔を所定間隔以上に保つためのスペーサとして作用する利点がある反面で、そのパターン面での曇り（汚染）の発生を抑制するために、フィルタ 1 0 0 に対して露光光源側に汚染防止のためのプレートを更に設置することが望ましい。

また、図 4 に示すように、フライアイ・インテグレータ 7 の入射面にフィルタ 1 0 0 を設置する際は、フライアイ・インテグレータ 7 の各レンズエレメント 7 a, 7 b, … に対してそれぞれフィルタ 1 0 0 の各フィルタ要素 1 0 0 a, 1 0 0 b, … が合致するように、フィルタ 1 0 0 の照明光 I L の光軸に垂直な平面内での位置決めも高精度に行う必要がある。

次に、フィルタ 1 0 0 上に形成される遮光パターンの一例につき説明する。その遮光パターンには種々の態様が考えられるが、ここでは微小な点状の遮光パターン（以下、「遮光ドットパターン」という）を所定配列で配置したパターンにつき説明する。遮光ドットパターンが本発明のユニット・パターンに対応する。

図 5 (a) は、図 4 のフライアイ・インテグレータ 7 の一つのレンズエレメント 7 a の前方に配置されている一つのフィルタ要素 1 0 0 a を示し、フィルタ要素 1 0 0 a はレンズエレメント 7 a と同じく短辺方向の幅 a で長辺方向の幅 b の長方形である。フィルタ要素 1 0 0 a 中には、代表的に一部の領域 2 4 を図 5 (b) に拡大して示すように、透過部を背景として微小な遮光ドットパターンが所定配列で配置されている。そして、図 5 (b) の領域 2 4 内には、代表的に一部の領域 2 5 を図 5 (c) に拡大して示すように、一辺の幅 d の正方形の透過率が 0 の多数

の遮光ドットパターン S D が所定配列で配置されている。即ち、フィルタ要素 1 0 0 a は、幅 a × 幅 b の領域内に全体としてほぼ所定の透過率が得られる条件のもとで、一辺の幅 d の正方形の多数の遮光ドットパターン S D を所定配列で配置したものである。被照射面としてのレチクルの
5 パターン面での照度むらを小さくするためには、遮光ドットパターン S D の一辺の幅 d は、フィルタ要素 1 0 0 a の縦横の幅 a, b、即ちレンズエレメント 7 a の縦横の幅 a, b に対して十分小さく設定することが必要である。図 5 の例では、幅 d は一例として約 5 μ m である。そして、幅 d は幅 a のほぼ 1 / 6 0 0 程度に設定されている。

10 遮光ドットパターン S D の配列方法は、各フィルタ要素 1 0 0 a 毎に異なっている必要があり、そのためには遮光ドットパターン S D の配列を例えば乱数列によって定めて、ランダム配列とすればよい。この具体的な手順を以下に示す。

遮光ドットパターン S D を用いる場合、フィルタ 1 0 0 による照明強度低下は不可避であり、まずその低下比に対応する各フィルタ要素 1 0
15 0 a 毎の平均透過率を設定する必要がある。ランダム配列間の相関を低くして干渉縞の低減効果を大きくするためには、平均透過率は小さい方が望ましいが、照明強度を極端に低下させるとウエハ上での照度が低下して露光時間を長くする必要があるため、スループットが大きく低下し
20 てしまう。従って、現実的には各フィルタ要素 1 0 0 a 毎の平均透過率として、8 5 % ~ 9 5 % 程度の透過率を選択することが望ましい。

本例ではその平均透過率を 9 0 % (0 . 9) と仮定する。このためには、遮光ドットパターン S D の全部の面積とそれ以外の背景領域 (透過部) の面積との比が 1 : 9 になるように、複数の遮光ドットパターン S
25 D をランダムに各フィルタ要素内に配列すればよい。このためには、まず図 6 (a) に示すように、一つのレンズエレメントに対応するフィル

タ要素 1 0 0 a を走査方向に対応する短辺方向に n 個、非走査方向に対応する長辺方向に m 個 (n, m は 2 以上の整数) の正方形のドット領域に分割し、ドット領域の順序を表すパラメータ k を $1, 2, \dots, mn$ とすればよい。なお、簡単のために図 6 (a) では整数 n は 4、整数 m は 1 0 としてあるが、これらは実際の値のほぼ $1 / 150$ 程度である。

次に、図 6 (b) に示すように、 k 番目 ($k = 1, 2, \dots, mn$) のドット領域に対して順次 0 から 1 の間の値を等しい確率でとる一様乱数の乱数列 a_k を割り当てた後、 p を平均透過率 (ここでは $p = 0.9$) として、各ドット領域において $a_k \geq p$ のときは $b_k = 0$ 、 $a_k < p$ のときは $b_k = 1$ となるような数列 b_k を生成すると、図 6 (c) に示すように、4 個のドット領域 FA, FB, FC, FD のみで数列 b_k の値が 0 となる。そこで、図 6 (d) に示すように、数列 b_k の値が 0 のドット領域 $FA \sim FD$ を遮光ドットパターンとして、それ以外のドット領域の透過率を 1 とすることによって、平均透過率が約 90 % となるようにランダムに遮光ドットパターンが配列される。

図 6 において、横のドット数 m 及び縦のドット数 n がそれぞれ十分大きく、且つドット領域の個数である mn が 10 の倍数であれば、 $a_k < p$ を満たす k の個数 N_o はほぼ $mn p$ に一致するはずであるが、実際には m, n は有限であるため、個数 N_o には $mn p$ からのずれが生じる。その場合には、補正值 δ を用いて平均透過率 p を $p + \delta$ として、数列 b_k を定義し直せばよい。但し、補正值 δ は $N_o > mn p$ のときは負、 $N_o < mn p$ のときは正の、絶対値が 1 よりも小さい数であり、かつ補正值 δ は、 $a_k < p + \delta$ ($k = 1, 2, \dots, mn$) となつて、数列 b_k が 1 となる k の個数 N が $N = mn p$ を満たすような数である。以上の遮光ドットパターンの配列の設定動作を、フィルタ 1 0 0 の各フィルタ要素 (即ち、フライアイ・インテグレータ 7 の各レンズエレメント) に対し

て、互いに異なる乱数列 a_k を用いて行うことによって、各フィルタ要素毎に異なる遮光パターンを設定することができる。この場合、一連のフィルタ要素の遮光パターンを順次設定する際に、それまでの遮光パターンの配列を記憶しておき、偶然に同じ配列の遮光パターンが設定されたときには、遮光パターンの設定をやり直すようにしてもよい。

上記の方法でランダムに遮光ドットパターンの配列を設定すると、前述の遮光ドットパターンの一辺の幅 d がフィルタ要素の縦横の幅 a , b よりも十分に小さいという条件が満たされていれば、図 2 の照明領域 21 内で任意の微小領域をとったとき、その微小領域の照明にはフライアイ・インテグレータ 7 のレンズエレメントの個数と同じ多数の正方形のドット領域が寄与し、その微小領域は平均として 90% の強度で照明されることになるため、照度むらが生じることはない。また、フライアイ・インテグレータ 7 の全部のレンズエレメント（フィルタ要素）に対して上記の条件が成り立っていれば、照明領域 21 内で位置によって照明光 I_L のコヒーレンスファクタ（ σ 値）が変化することもなく、照明領域 21 の全体で均一に照明が行われ、ウエハ 13 上の各ショット領域に形成される回路パターンの線幅均一性が向上する。

なお、図 6 の例では、乱数列を用いてランダムに遮光ドットパターンの配列を決定しているが、その他に例えば予め 8×8 ドット程度の領域（以下、「単位マトリックス」という）について、所定のドットを遮光ドットパターンに設定して、透過率が異なる 2 種類の単位マトリックスを用意しておいてもよい。そして、所定の平均透過率が得られるようにこれら 2 種類の単位マトリックスの配列を定めることによって、いわば組織的に遮光ドットパターンの配列を決定できる。

また、上記の遮光パターンの設定は、複数のレンズエレメントから構成されるフライアイ・インテグレータ 7 の全面に対応するフィルタ 10

0の全面に亘って一度に行っても良いが、その場合、フィルタ100を構成する各フィルタ要素（各レンズエレメント）毎に透過率、即ち遮光ドットパターンの個数の僅かな違いが生じる可能性がある。そこで、透過率が予め設定されている平均透過率から所定の許容値以上ずれたフィルタ要素については、例えばランダムに遮光ドットパターンの追加又は削除を行うことによって、その透過率を補正する等の注意が必要である。更に、遮光ドットパターンの一辺の幅dが小さくなる程、フィルタ100の製造工程が複雑になるため、その幅dは必ずしも小さい程良いというわけではない。その幅dは、照明領域で照度むらを生じない範囲で干渉縞を減少させることができる大きさを選択することが望ましい。

また、遮光ドットパターンの配列を決定するための計算を簡単化するためには、以下のような方法も考えられる。即ち、1つのフィルタ要素（レンズエレメント）の領域をM個の長方形のサブエリア（サブフィルタ）に等分割し、サブエリア1つ分の広がりを持つ遮光ドットパターンのランダムな配列を予め何通りか生成し、このように生成される配列を配列要素 A_1 , A_2 , ..., A_m とする。次に、これらの配列要素をランダムに選んでいき、M個（ $M \geq m$ でも $M < m$ でも可）の配列要素を並べることにより、1つのフィルタ要素内をM個のランダムな配列パターンで埋め尽くすことができる。配列要素を選ぶ順番を各フィルタ要素毎に変更することにより、フィルタ要素毎に異なる遮光パターンをM個の配列要素で構成することができる。

特に走査露光型の露光装置の場合は、照度むらの悪化を抑えるために、以下のような方法を採用してもよい。走査露光型では、照明領域、ひいては投影光学系の露光領域内の照度の面分布を、走査方向に積分して得られる照度の非走査方向の線分布が一様になっていることが重要である。従って、図7に示すように、フィルタを構成するフィルタ要素100a

(フライアイ・インテグレータ 7 のレンズエレメント 7 a) を走査方向 S (Y 方向) に直交する X 方向に m 列の部分領域 $L_1, L_2, \dots, L_{(m-1)}, L_m$ に分割し、それぞれの部分領域内で前述の設定動作を行えばよい。即ち、第 i 列 ($i = 1, 2, \dots, m$) の部分領域 L_i 内の
5 j 番目 ($j = 1, 2, \dots, n$ 、かつ n は 10 の倍数) のドット領域に 0 ~ 1 の乱数列 a_j を割り当て、 $a_j < p + \delta$ を満たす j の個数を N とする。そして、その個数 N が、 $N = np$ を満たすように補正值 δ を選び、 $a_j \geq p + \delta$ のときは $b_j = 0$ 、 $a_j < p + \delta$ のときは $b_j = 1$ となるような数列 b_j を生成し、数列 b_j が 0 となるドット領域を斜線を施して示すように遮光ドットパターンとすればよい。この操作により各列の部分領域 L_i ($i = 1 \sim m$) の遮光ドットパターンの個数は全て np となり、走査方向に積分して得られる透過率が各列で正確に p に等しくなり、非走査方向に対する露光量むらは無くなる。

上記の実施の形態では、照明光の空間的なコヒーレンス長がかなり長い場合を想定して、フィルタ領域の全面で各フィルタ要素の透過率分布を互いに独立に設定していた。しかしながら、実際にはそのコヒーレンス長はフィルタ領域の全面の幅よりも狭い場合があり、この場合には各フィルタ要素 (フライアイ・インテグレータの各レンズエレメント) 毎のランダムな遮光パターンの決定方法を以下のように簡単化することができる。
15
20

即ち、フライアイ・インテグレータの或る 2 つのレンズエレメントを通過した照明光間で干渉が起きるかどうかは、両者の中心の間隔が照明光の空間的コヒーレンス長 (以下「 ρ 」と表示する。) よりも小さいかどうかで決まる。一般にレーザ光に対する空間的コヒーレンス長 ρ は非常に大きい
25
レーザは多モード発振していることから空間的コヒーレンス長 ρ は比較

的小さく、フライアイ・インテグレータの全体の幅と同等か、或いはそれ以下とも言われている。2つのレンズエレメントの中心間の距離が ρ よりも大きい場合は、両者を通過した光束による干渉は起こらないと見なせるので、両者に対応するフィルタ要素の遮光パターンの配列は同一でも支障はない。従って、遮光ドットパターンのランダム配列は、 ρ を半径とする円に含まれるフライアイ・インテグレータのレンズエレメントの個数だけ用意すればよい。この状況を図8に示す。

図8は、レンズエレメント71aを一方向に段違いに密着して配列して構成されるフライアイ・インテグレータ71の前方、即ちフライアイ・インテグレータ71に対してその入射面側にフィルタ101を配置した状態を示し、この図8において、フィルタ101のフィルタ領域は各レンズエレメント71aに対応して、それぞれレンズエレメント71aと同じ大きさのフィルタ要素（101A, 101B等）に分割されている。また、空間的コヒーレンス長 ρ を半径とする円26を想定すると、この円26内の複数のレンズエレメントを通過した光束によって干渉縞が形成されることになる。そこで、フライアイ・インテグレータ71を構成する多数のレンズエレメントを、太い実線で囲んで示すようにそれぞれ円26を含む18個のレンズエレメントよりなる12個のレンズエレメント群27A, 27B, ..., 27K, 27Lに分割し、フィルタ101のフィルタ領域もレンズエレメント群27A~27Lに対応するフィルタ要素群に分割する。

そして、 ρ を半径とする円26を含む第1のレンズエレメント群27Aに対応するフィルタ要素群は、18個のレンズエレメントに対応して18個のフィルタ要素101A, 101B, ..., 101Q, 101Rを含むため、これらの18個のフィルタ要素101A~101Rに対して互いに異なる配列の遮光パターンA~Rを形成する。そして、他のレン

ズエレメント群 27B～27Lに対応するフィルタ要素群のパターンは、
1番目のレンズエレメント群 27Aに対応するフィルタ要素群のパター
ンと同一とする。この場合、遮光パターンとしてはA, B, C, ..., Q,
Rの18種類のパターンのみを上記の実施の形態の方法で生成すればよ
いことになる。

このとき、フライアイ・インテグレータ71上の任意の位置を中心と
する半径 ρ の円の中のほぼ18個のフィルタ要素には、同一配列の遮光
パターンが含まれることはないため、フライアイ・インテグレータ71
中の任意の2つのレンズエレメントを通過した光束による干渉縞は殆ど
形成されないことになる。つまり、18種類の異なる配列の遮光パター
ンを用意して、その12倍の面積のフライアイ・インテグレータ71の
全面分の遮光パターンを形成することによって、干渉縞の発生を抑制す
ることができる。言い換えると、空間的コヒーレンス長を超える間隔の
フィルタ要素には同一の遮光パターンが形成されることを許容すること
によって、干渉縞の発生を抑制しながらフィルタ101を容易に形成す
ることができる。

次に、図1の投影露光装置の照明光学系においては、実際には開口絞
り8の開口径は可変となっており、その開口径の制御によって照明光の
コヒーレンスファクタ(σ 値)を変えられるように構成されている。ま
た、その開口径を小さくして σ 値を中程度の値から小さい値としたとき
には、例えばビーム整形光学系3のレンズ間隔を制御して、フライアイ
・インテグレータ7に入射する照明光の断面形状を小さくする(照度を
高める)ことによって、レチクル13(ウエハ19)上での照明光IL
の照度が低下しないように構成されている。

しかしながら、小 σ 値の照明を行うために開口絞り8の開口径を小さ
くすると、フライアイ・インテグレータ7のレンズエレメント中でレチ

クル 1 3 の照明に寄与する全部のレンズエレメント間の平均的な間隔が狭くなるため、干渉縞は顕著に現れるようになる。これを防止するためには、フィルタ 1 0 0 の各フィルタ要素の互いに異なる遮光パターンを、その小 σ 値の照明を行う際に使用される内側の領域のみに形成することも考えられる。このような実施の形態につき図 9 を参照して説明する。

図 9 は、 σ 値を大きい値 $\sigma 1$ と小さい値 $\sigma 2$ との 2 つの値に切り換えることができる照明光学系のフライアイ・インテグレータ 7 2 と、その前方のフィルタ 1 0 2 とを示し、この図 9 において、フライアイ・インテグレータ 7 2 は多数のレンズエレメント 7 2 a を一方向に段違いに密着して配置して構成され、フィルタ 1 0 2 のフィルタ領域はレンズエレメント 7 2 a に対応して多数のフィルタ要素に分割されている。また、開口 8 A は大 σ 値 ($\sigma 1$) を得るための開口絞りの開口、開口 8 B は小 σ 値 ($\sigma 2$) を得るための開口絞りの開口を示し、小 σ 値 ($\sigma 2$) のときは、斜線を施した内側の領域 1 0 2 B 内のレンズエレメントからの照明光のみが有効となる。そこで、フィルタ 1 0 2 においては、領域 1 0 2 B に対応する複数のフィルタ要素にのみ互いに異なるランダムに配列された遮光パターンを形成し、それ以外の領域 1 0 2 A に対応する外側の複数のフィルタ要素には遮光パターンを形成しないでおく。

この例において、開口 8 B を用いて小 σ 値の照明を行うと、有効なレンズエレメントの入射面にはランダム配列の遮光パターンが設けてあるため干渉縞低減効果が得られる。一方、開口 8 A を用いて大 σ 値の照明を行うと、遮光パターンが配置されているのは中央部の領域 1 0 2 B 内のレンズエレメントのみであり、外側の領域 1 0 2 A 内のレンズエレメントには遮光パターンが無いいため、照度の低下を抑えることができる。但し、この場合中央部のみに遮光パターンが設けられていることから、照明領域（露光フィールド）内の任意の位置で照明光による有効 σ 値は

大きくなることに注意が必要である。なお、図 9 の説明では開口絞り 8 のみ、あるいはビーム整形光学系 3 のレンズ間隔の調整との併用によって小 σ 照明を実現するものとしたが、ビーム整形光学系 3 のレンズ間隔調整のみで小 σ 照明を実現してもよいし、あるいは照明光を入射して回折光を発生する回折光学素子を光源とオプティカルインテグレータとの間に交換可能に配置して照明分布を変更するようにしてもよい。

また、図 9 では小 σ 照明に好適な光学フィルタを例示したが、輪帯照明、あるいは照明光学系の光軸から偏心した複数（例えば 4 つ）の局所領域に照明光を分布させる変形照明などを採用できる露光装置では、図 9 に示したフィルタ 102 と同様に、照明光が分布する輪帯領域あるいは局所領域に対応する複数のフィルタ要素のみに互いに異なるランダムに配列された遮光パターンを形成しておくようにしてもよい。このとき、照明条件（即ち、照明光学系内のフーリエ変換面上で照明光が分布する領域の形状又は大きさ）の変更に応じてその光学フィルタを交換するように構成してもよい。

さらに、各フィルタ要素の遮光ドットパターンでの回折を考慮してその光学フィルタ 100、102 の透過率（ドットパターンの配列など）を決定するようにしてもよい。

以上の実施の形態では、フライアイ・インテグレータ 7、71、72 の複数のレンズエレメントの入射面に設置されたフィルタ 100、101、102 には、遮光ドットパターンをランダムに配列した遮光パターンが形成されているが、これは最も製作が容易であり、実用的であるからである。しかしながら、前述のように、遮光パターンは光量低下を招くため、これを抑えるための実施の形態として、位相シフトパターン或いはハーフトーンパターンの利用が考えられる。これらは共に解像力向上のための一つの手法として通常はレチクルパターンに用いられるもの

である。

前者の位相シフトパターンを利用する場合には、例えば図 5 (c) の遮光ドットパターン S D の代わりに、照明光の位相を他の領域に対して所定量（例えば 180° ）変えるような位相シフタ（位相物体）を使用すればよい。又は、フィルタ 100 の基板上で遮光ドットパターン S D が形成される領域をそれぞれ所定の深さにエッチングするか、若しくは擦りガラス状にエッチングするようにしてもよい。その他に、遮光ドットパターン S D と背景領域との境界部に位相シフタを形成するようにしてもよい。

また、後者のハーフトーンパターンを利用する場合には、例えば図 5 (c) の遮光ドットパターン S D の代わりに位相シフタを形成し、その上に所定の透過率を持つ薄膜を形成すればよい。これによって、透過光の位相と振幅とを共に変化させることができる。また、位相と透過率との両方を単一の薄膜層により制御することも可能である。これらの位相シフトパターンやハーフトーンパターンを遮光ドットパターンの代わりに用いることによって、照明光の光量を殆ど低下させることなく、フライアイ・インテグレータの複数のレンズエレメントを通過した光束による干渉縞の生成を抑制することができる。

また、遮光ドットパターンと、位相シフタによるドットパターンと、位相及び透過率の両方を変化させるドットパターンとの内の少なくとも 2 つをランダムに配置したパターンをフライアイ・インテグレータの前方（フライアイ・インテグレータに対してその入射面側）に配置するようにしてもよい。

なお、図 1 の投影露光装置では、フライアイ・インテグレータ 7 の射出面を光源として見ると、フライアイ・インテグレータ 7 を構成するレンズエレメントの数だけ 1 次光源が縦横に並んだものと等価となってい

ることが分かる。この面光源を形成する各 1 次光源の強度比は、それぞれに対応するレンズエレメントの透過率を変更することにより、任意に設定することが可能である。実際にレンズエレメントそのものに加工を施すのは多少困難であるため、フライアイ・インテグレータ 7 の入射面近傍、又は射出面近傍に照度補正フィルタ 2 0 0 を配置し、その透過率を制御できる構成とすることが好ましい。この場合、フライアイ・インテグレータ 7 の各レンズエレメントの入射面は、それぞれレチクル 1 3 及びウエハ 1 8 と共役であり、レンズエレメントの入射面内の各点がウエハ面上の各点とそれぞれ個別に対応関係があることを考えると、図 1 に示すように、フライアイ・インテグレータ 7 の入射面近傍、即ちフィルタ 1 0 0 の近傍に照度補正フィルタ 2 0 0 を配置すれば、被照射面上に集光する光束の光強度分布を像面上の各点のそれぞれで独立に制御することができる。そして、その所定の透過率分布を持つ照度補正フィルタ 2 0 0 も、フィルタ 1 0 0 と同様に上記の実施の形態の方法で製造することができる。

この場合、フィルタ 1 0 0 の各フィルタ要素の透過率をそれぞれ変化させることによって、照度補正フィルタ 2 0 0 の機能をフィルタ 1 0 0 に持たせるようにしてもよい。これは、例えば遮光ドットパターンを用いる場合、フィルタ 1 0 0 の各フィルタ要素毎に配置する遮光ドットパターンの個数を変化させることによって容易に達成でき、これによって別途照度補正フィルタ 2 0 0 を配置する必要がなくなる利点がある。

また、フライアイ・インテグレータ 7 の入射面には、各レンズエレメントに対応させて照明光のコヒーレンスファクタ (σ 値) を補正するためのフィルタ (以下、「コヒーレンス補正フィルタ」という) を設けることが望ましいことがある。この場合、本例の干渉縞低減用のフィルタ 1 0 0 に更にコヒーレンス補正フィルタの機能を持たせるようにしても

よい。このためには、遮光ドットパターンの分布をわずかに補正すればよい。また、コヒーレンス補正フィルタのみであっても、或る程度は干渉縞低減用のフィルタの機能を有しているとも考えることができる。

5 なお、本発明は、ステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置の照明光学系のみならず、ステッパーのような一括露光型の投影露光装置、又は投影光学系を使用しないプロキシミティ方式の露光装置若しくはコンタクト方式の露光装置の照明光学系にも適用することができる。また、本発明は、例えば遠紫外光又は真空紫外光を露光用照明光として使用するステップ・アンド・スティッチ方式の縮小投影露光装置にも適用することができる。

10 なお、上記の実施の形態の投影露光装置の用途としては半導体製造用の露光装置に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに液晶表示素子パターンを露光する液晶用の露光装置、及びプラズマディスプレイや撮像素子（CCD等の薄膜磁気ヘッド撮像素子を含む）、マイクロマシン等を製造するための露光装置などにも広く適用できる。

15 また、半導体素子等を製造するデバイス製造用の露光装置で使用するレチクル又はマスクを、例えば遠紫外光（DUV光）若しくは真空紫外光（VUV光）を用いる露光装置で製造する場合にも、上記の実施の形態の投影露光装置を好適に使用することができる。

20 また、露光用の照明光としてのDFB半導体レーザ又はファイバレーザから発振される赤外域又は可視域の単一波長レーザを、例えばエルビウム（Er）（又はエルビウムとイッテルビウム（Yb）の両方）がドーピングされたファイバーアンプで増幅し、かつ非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いてもよい。例えば、単一波長レーザの
25 発振波長を1.544～1.553 μm の範囲内とすると、193～194 nmの範囲内の8倍高調波、即ちArFエキシマレーザとほぼ同一

波長となる紫外光が得られ、発振波長を $1.57 \sim 1.58 \mu\text{m}$ の範囲内とすると、 $157 \sim 158 \text{ nm}$ の範囲内の 10 倍高調波、即ち F_2 レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

5 なお、投影光学系等の硝材としては、上述のフィルタ 100 の基板と同様に露光用の照明光 IL に対して透過性の材料が使用される。また、投影光学系は屈折系、反射系、及び屈折レンズと凹面鏡等の反射光学素子とを組み合わせ構成した反射屈折系（カタジオプトリック系）の何れでもよい。反射屈折系としては、例えば米国特許第 5788229 号に開示されているように、複数の屈折光学素子と 2 つの反射光学素子
10 （少なくとも一方は凹面鏡）とを、折り曲げられることなく一直線に延びる光軸上に配置した光学系を用いることができる。なお、本国際出願で指定した指定国、又は選択した選択国の国内法令の許す限りにおいてこの米国特許の開示を援用して本文の記載の一部とする。

15 また、上述のフライアイ・インテグレータ 7 やフィルタ 100 を含む照明光学系や、投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整をすると共に、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより上述の実施の形態の投影露光装置を製造
20 することができる。なお、投影露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

そして、半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、このステップに基づいたレチクルを製造するステップ、シリコン材料からウエハを制作するステップ、上述の実施の形態の投影露光装置によりレチクルのパターンをウエハに露光するステップ、デバイス組み立て
25 ステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。更に、明細書、特許請求の範囲、図面、及び要約を含む、1999年3月24日付提出の日本国特許出願第11-78820号の全ての開示内容は、そっくりそのまま引用してここに組み込まれている。

産業上の利用の可能性

本発明の露光方法によれば、オプティカル・インテグレータによって形成される複数の光源像の中で所定方向に隣接する2つの光源像からの照明光の強度分布又は位相分布が互いに異なるため、可干渉性を有する照明光を使用して露光を行う場合に、基板上での照明光による干渉縞の発生を抑制できる。従って、基板上での露光用の照明光の照度分布の均一性が高まり、線幅均一性が向上する。

また、本発明の照明光学装置によれば、所定の光学フィルタを備えているため、可干渉性を有する照明光を使用する場合に被照射面での照明光による干渉縞の発生を抑制でき、本発明の露光方法を実施することができる。

また、本発明の露光装置によれば、本発明の照明光学装置を備えているため、転写対象の基板上での照度分布の均一性を向上でき、線幅均一性に優れた高機能のデバイスを製造できる。

また、本発明のデバイスの製造方法によれば、線幅均一性に優れた高機能のデバイスを製造することができる。

請 求 の 範 囲

1. 照明光よりオプティカル・インテグレータを介して複数の光源像を形成し、該複数の光源像からの照明光で所定のパターンを重疊的に照明し、前記パターンを基板上に転写する露光方法において、

前記オプティカル・インテグレータによって形成される前記複数の光源像の中で所定方向に隣接する2つの光源像からの照明光の強度分布又は位相分布を互いに異ならしめることを特徴とする露光方法。

2. 照明光より複数の光源像を形成するオプティカル・インテグレータと、該オプティカル・インテグレータを通過した照明光を被照射面に導くコンデンサ光学系とを備えた照明光学装置において、

前記オプティカル・インテグレータの入射面の近傍で、前記複数の光源像の内の所定方向に隣接する2つの光源像に対応する2つの領域を通過する照明光の強度分布又は位相分布を互いに異ならしめる光学フィルタを設置したことを特徴とする照明光学装置。

3. 前記オプティカル・インテグレータは複数のレンズエレメントを束ねて形成されるフライアイ・インテグレータであり、

前記光学フィルタは、前記複数のレンズエレメントの内の前記所定方向に隣接する2つのレンズエレメントに入射する照明光の光路上に配置された2つのフィルタ要素を有し、

該2つのフィルタ要素は、それぞれ所定形状の領域内に該領域よりも十分に小さい面積を持ち、背景の領域に対して照明光の強度又は位相を変化させる複数のパターン・ユニットを互いに異なる配列で配置したものであることを特徴とする請求の範囲2記載の照明光学装置。

4. 前記パターン・ユニットは遮光パターン、ハーフトーンパターン又は位相シフタであることを特徴とする請求の範囲3記載の照明光学装置。

5. 前記光学フィルタを構成する複数のフィルタ要素の中で、前記照明光の空間コヒーレンス長の2倍を直径とする円形の領域に実質的に収まる複数のフィルタ要素は、互いに異なることを特徴とする請求の範囲3又は4記載の照明光学装置。

5 6. 前記被照射面と実質的にフーリエ変換の関係となる所定面上での前記照明光の光量分布を可変とする光学装置を更に備え、

10 前記光学フィルタを構成する複数のフィルタ要素は、前記光量分布に応じてそれぞれ該フィルタ要素を通過する照明光の強度分布又は位相分布を設定することを特徴とする請求の範囲3～5の何れか一項記載の照明光学装置。

7. 前記所定方向は少なくとも前記レンズエレメントの配列ピッチが最短となる方向を含むことを特徴とする請求の範囲3～5の何れか一項記載の照明光学装置。

15 8. 請求の範囲2～7の何れか一項記載の照明光学装置でマスクを照明し、該マスクのパターンを基板上に転写することを特徴とする露光装置。

9. 前記パターンを前記基板上に転写するために、前記照明光に対して前記マスクと前記基板とをそれぞれ相対移動し、

前記所定方向は少なくとも前記マスクの移動方向と交差する方向を含むことを特徴とする請求の範囲8記載の露光装置。

20 10. 請求の範囲1記載の露光方法によりマスクに形成された前記パターンを前記基板上に転写する工程を含むことを特徴とするデバイスの製造方法。

図 1

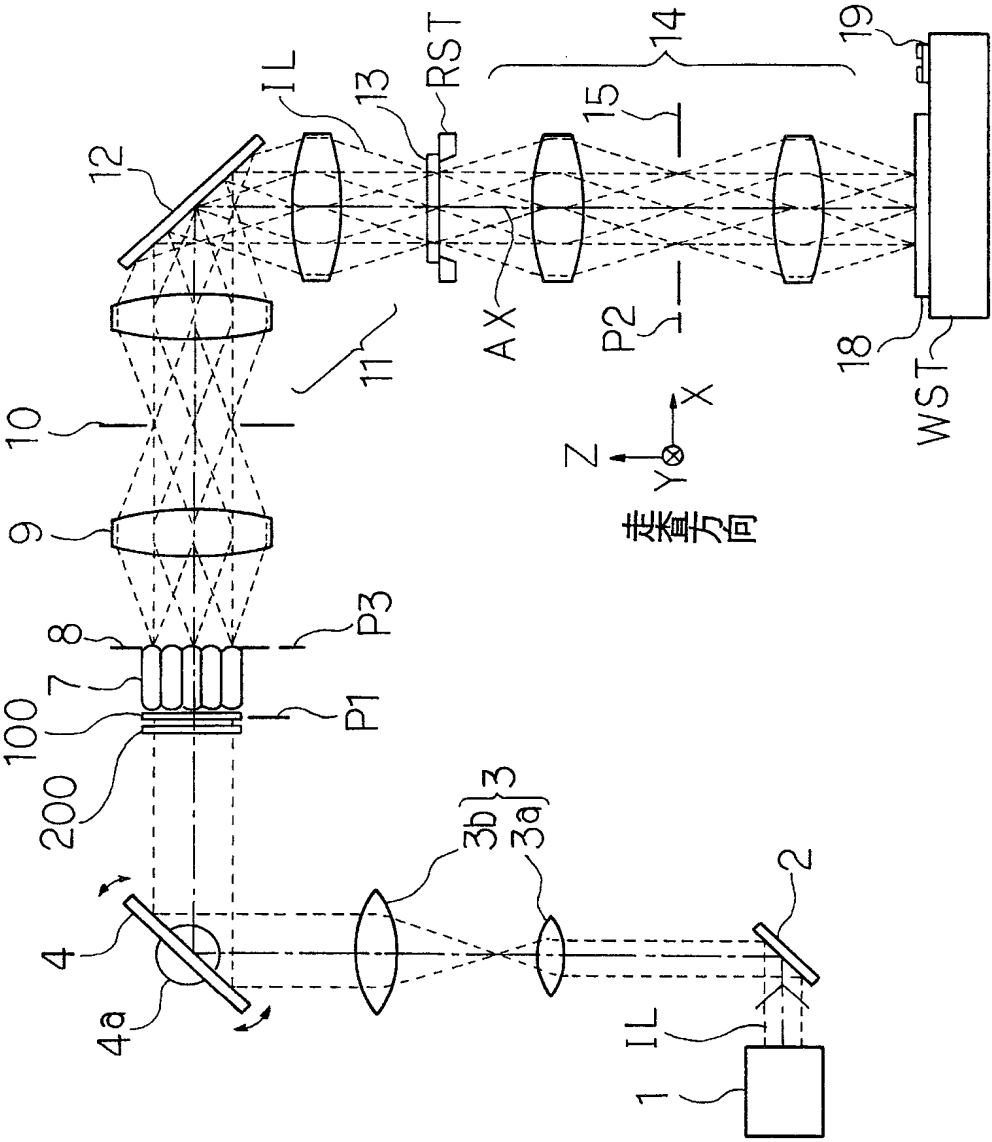


図 2

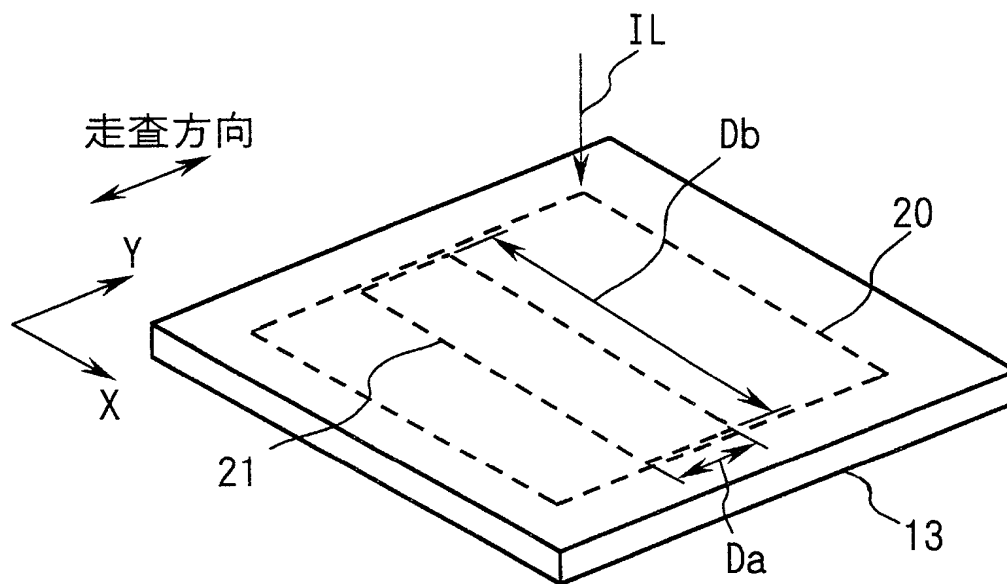
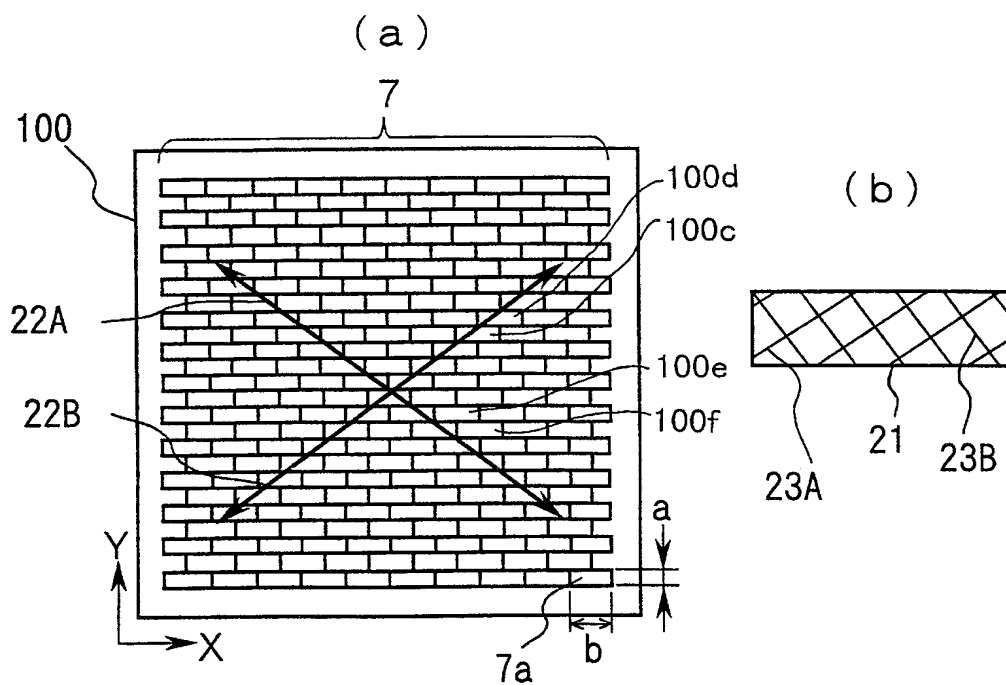


図 3



3/6

図 4

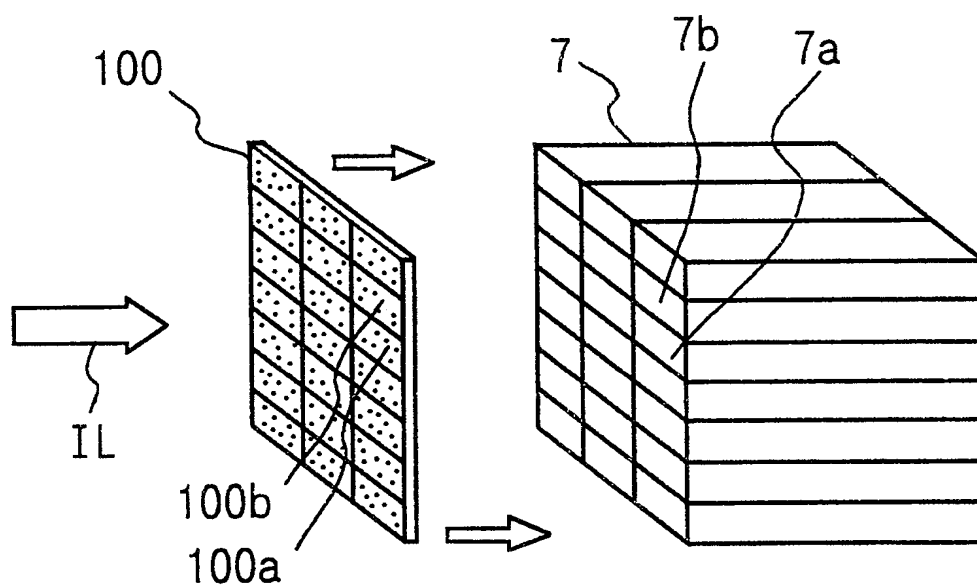


図 5

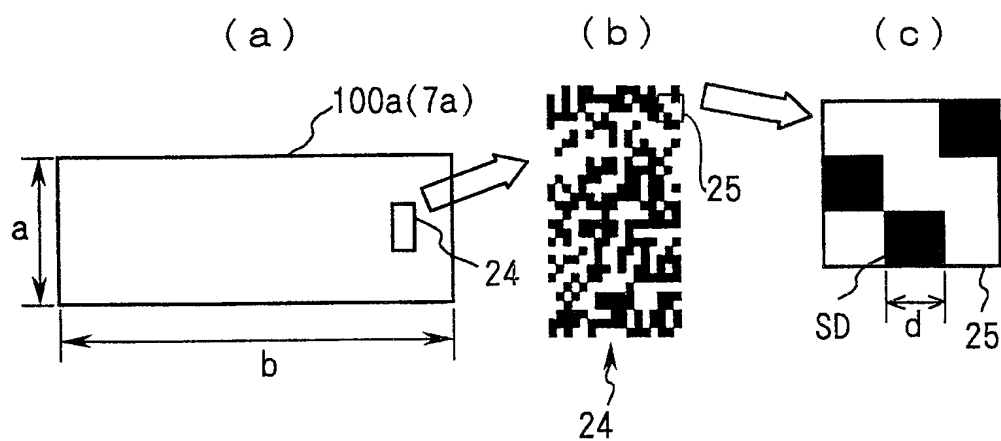
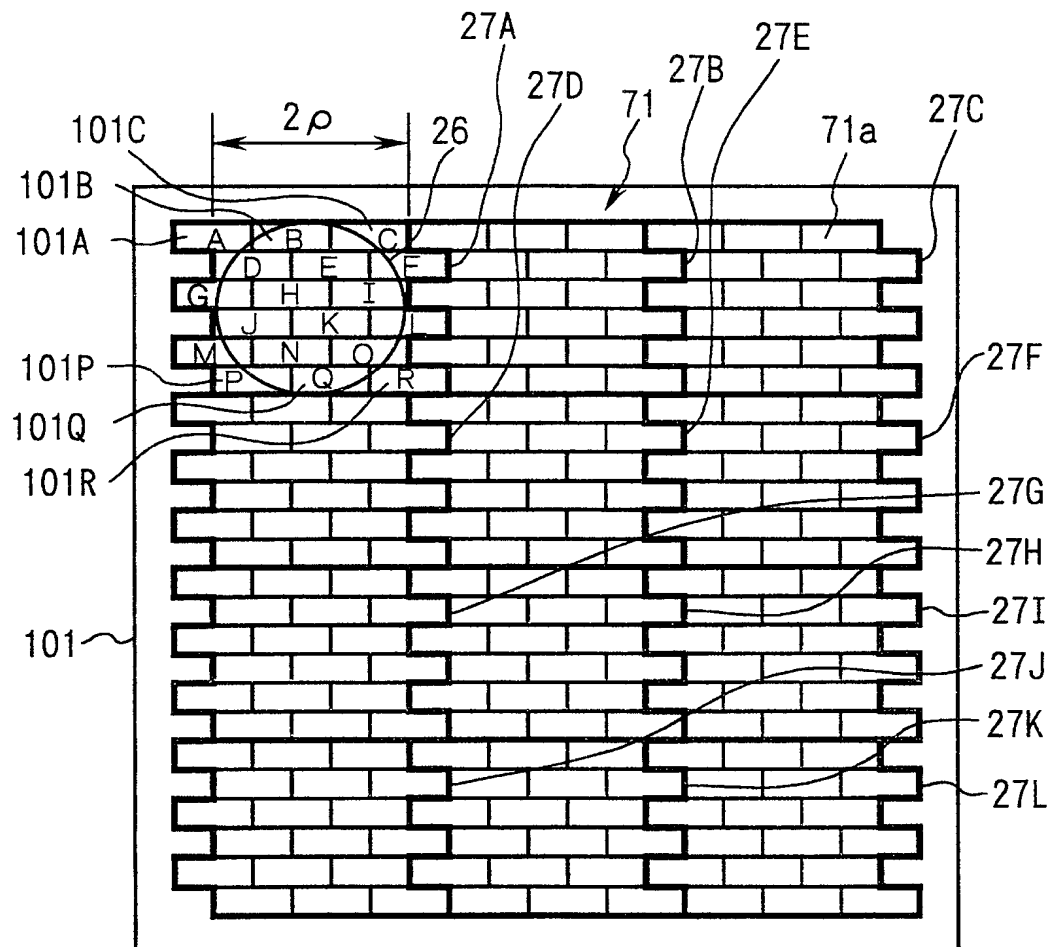
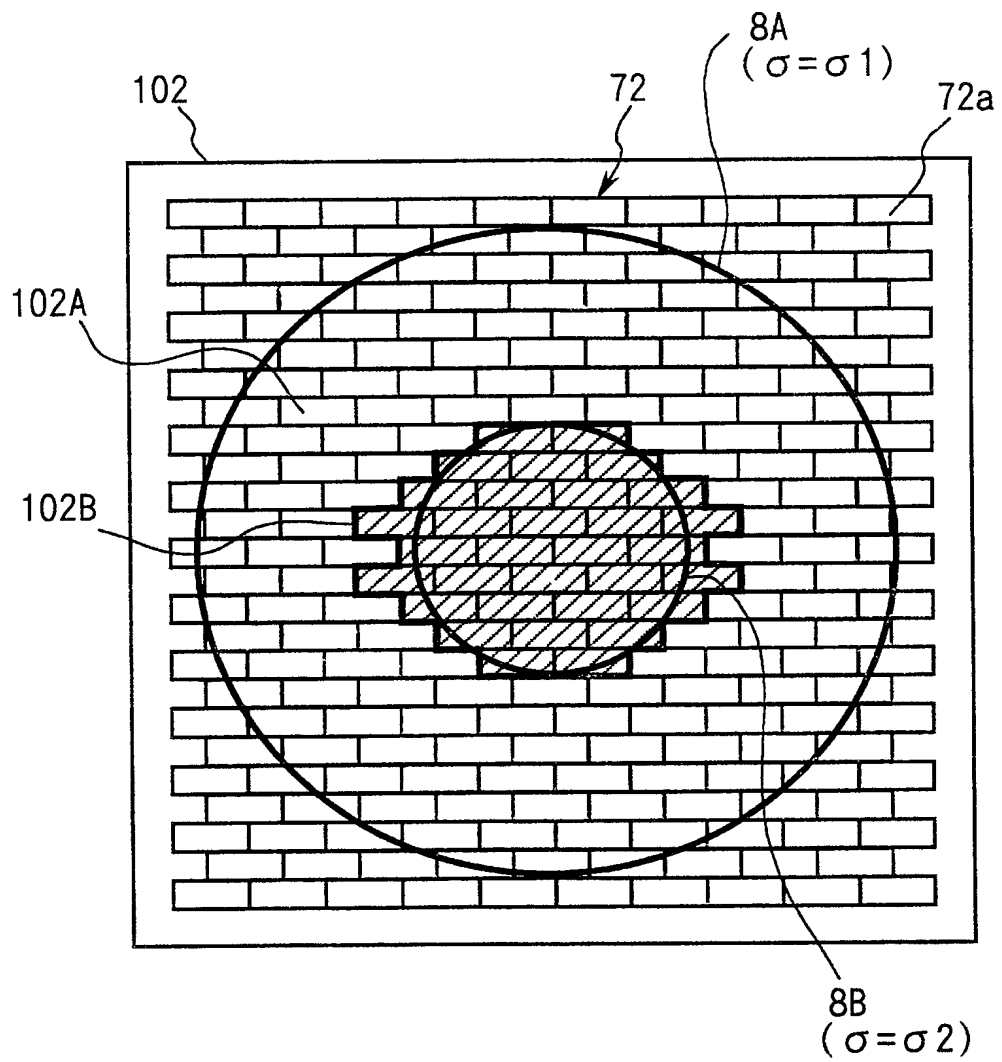


図 8



6/6

図 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/01449

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 10-303123, A (Canon Inc.), 13 November, 1998 (13.11.98) (Family: none)	1-10
X	JP, 10-319321, A (Nikon Corporation), 04 December, 1998 (04.12.98) (Family: none)	1-10
X	JP, 11-54417, A (Nikon Corporation), 26 February, 1999 (26.02.99) (Family: none)	1-10
X Y	JP, 9-22869, A (Nikon Corporation), 21 January, 1997 (21.01.97) (Family: none)	1-2, 8-10 3-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
23 May, 2000 (23.05.00)

Date of mailing of the international search report
30 May, 2000 (30.05.00)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2000年
 日本国登録実用新案公報 1994-2000年
 日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP, 10-303123, A(キヤノン株式会社)13. 11月. 1998(13. 11. 98) (ファミリーなし)	1-10
X	JP, 10-319321, A(株式会社ニコン)4. 12月. 1998(04. 12. 98) (ファミリーなし)	1-10
X	JP, 11-54417, A(株式会社ニコン)26. 2月. 1999(26. 02. 99) (ファミリーなし)	1-10
X Y	JP, 9-22869, A(株式会社ニコン)21. 1月. 1997(21. 01. 97) (ファミリーなし)	1-2, 8-10 3-7

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

23. 05. 00

国際調査報告の発送日

30.05.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

芝 哲央

2M

7810

電話番号 03-3581-1101 内線 6221